

## Pemanfaatan Surfaktan dalam Pengolahan Limbah Berminyak secara Bioproses

Syafrizal<sup>1</sup>, Devitra Saka Rani<sup>1,\*</sup>, Sri Astuti Rahayu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kelompok Bioteknologi, Teknologi Proses, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS", Jl. Ciledug Raya Kav.109 Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230

### Abstract

*Oil sludge from petroleum industry effluent is classified as hazardous waste and required special treatment before discharge to the environment. One of oil sludge treatment technology is bioprocess which using bacterial activities to degrade hydrocarbon of oil sludge. However, the capability of bacteria in reducing petroleum waste is often obstructed by the characteristic of petroleum oil as non-aqueous phase liquid which is water immiscible. This condition can solved by surfactant addition in a specific concentration to increase hydrocarbon solubility thus enhance hydrocarbon biodegradation. This study was conducted in slurry bioreactors which contain production water enriched with N/P source (5:1) and 0.1% yeast extract, 10% (v/v) of *Pseudomonas aeruginosa* culture as degradator bacteria, 6% (w/v) oil sludge, and surfactant which concentration base on its CMC. Two surfactant of Emulsogen LP and Rheodol TW-S120V were tested as surfactant addition. The result showed that the addition of Emulsogen LP and Rheodol TW-S120V after 4 days incubation enhanced hydrocarbon biodegradation 34.50% and 46.23% respectively while control only 29.39%. The addition of Rheodol TSW-120V in slurry system at 37°C after 6 days showed the best result of hydrocarbon biodegradation (52.00%) while at room temperature only 31.51%.*

**Keywords:** Surfactant, Oil sludge, Bioprocess, Biodegradation

### Pendahuluan

Limbah minyak bumi berupa lumpur berminyak atau *oil sludge* merupakan salah satu limbah yang berasal dari hasil samping kegiatan industri migas. Lumpur berminyak terdiri dari minyak, air, abu, karat tangki, pasir dan bahan-bahan lainnya. Kandungan senyawa hidrokarbon dalam lumpur berminyak seperti benzena, toluena, etilbenzena, xylene dan logam-logam berat berpotensi karsinogenik. Menurut PP 18/1999 jo PP 85/1999, *oil sludge* digolongkan ke dalam limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) sehingga harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang. Penanggulangan secara biologi, atau yang lebih dikenal dengan teknologi bioproses, merupakan salah satu upaya alternatif untuk mendegradasi limbah minyak bumi. Selain lebih ramah lingkungan, pengolahan limbah secara biologi lebih efisien dan ekonomis. Teknologi bioproses memanfaatkan aktivitas bakteri untuk mendegradasi hidrokarbon limbah minyak bumi. Namun kemampuan bakteri dalam mendegradasi limbah minyak bumi sering terhambat oleh sifat *non-aqueous phase liquid* dari minyak bumi sehingga sukar bercampur dengan air. Lumpur berminyak bersifat sangat *recalcitrant* dan sulit untuk dimanfaatkan kembali (Soriano & Pereira, 2002). Hidrokarbon minyak bumi yang sangat hidrofobik menyebabkan rendahnya tingkat bioavailabilitas (kemampuan minyak bumi untuk

dimetabolisme) bagi mikroba sehingga menjadi penyebab utama lambatnya proses biodegradasi (Cameotra & Singh, 2008). Untuk mengatasi hal tersebut digunakan *surfactant* (*surface active agent*), molekul yang terdiri dari bagian hidrofilik dan hidrofobik (Volkerling et al., 1995). Surfaktan ini akan bertindak sebagai pengemulsi, yaitu senyawa yang dapat mengurangi tegangan antarmuka dua cairan. Emulsi yang terjadi akan meningkatkan dispersi minyak bumi di dalam air, dan memperluas daerah pertemuan antara minyak bumi dan bakteri (Pokethitiyook et al., 2002) sehingga meningkatkan biodegradasi lumpur berminyak (Rahman et al., 2006). Nonionik surfaktan diketahui dapat menstimulasi biodegradasi hidrokarbon poliaromatik melalui peningkatan bioavailabilitas (Zheng and Obbard, 2001). Surfaktan nonionik umum digunakan dalam penelitian biodegradasi hidrokarbon karena kurang toksik terhadap bakteri dan tidak menyebabkan perubahan pH yang dapat mengganggu proses biodegradasi (Volkerling et al., 1998; Volkerling et al., 1995). Penelitian mengenai penggunaan surfaktan pada untuk menstimulasi proses biodegradasi minyak bumi telah dilakukan dengan berbagai jenis surfaktan, dalam berbagai kondisi operasi (Volkerling et al., 1995; Zheng & Obbard, 2001; Cameotra & Singh, 2008; Syafrizal dkk., 2009). Menurut McClement (1999) gugus fungsional dari suatu molekul surfaktan dapat berubah nyata sesuai kondisi temperatur

\* Korespondensi penulis: Telp. +62 21 7394422 ext.1574, Fax. +62 21 7228414, E-mail: [devitra@lemigas.esdm.go.id](mailto:devitra@lemigas.esdm.go.id)

maupun larutan meski tidak ada perbedaan struktur kimia, sedangkan Rahman (2006) menyatakan bahwa kuantitas hidrokarbon yang terdegradasi tergantung kepada kondisi lingkungan, struktur kimia dari senyawa polutan, serta jenis dan jumlah ketersediaan minyak. Dengan demikian, penelitian mengenai pemanfaatan surfaktan dalam pengolahan limbah minyak bumi di Indonesia masih diperlukan mengingat karakter minyak bumi Indonesia yang berbeda-beda dan tingginya biodiversitas mikrobia Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan surfaktan yang dapat meningkatkan biodegradasi lumpur berminyak (*oil sludge*) agar keluarannya aman untuk dibuang ke lingkungan.

## Metodologi

**Preparasi Kultur Bakteri.** Sebagai bakteri pendegradasi limbah berminyak digunakan kultur murni *Pseudomonas aeruginosa* yang berasal dari BLCC (*Biotechnology Lemigas Culture Collection*). Dalam cakupan luas, jenis bakteri ini mampu mendegradasi hidrokarbon alifatik dan aromatik (Shailubhai et al., 1985). Kultur bakteri diaktivasi dalam media NB (*nutrient Broth*) selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah 2 kali masa aktivasi, kultur bakteri diadaptasikan secara bertahap dalam 100 mL media cair berisi air produksi dengan penambahan Urea dan NPK sebagai sumber N/P (5:1); 0,1% ekstrak *yeast* serta 0,1% *crude oil*. Kultur diinkubasi selama 48 jam pada suhu ruang dengan kecepatan 100 rpm. Setelah 3 kali masa adaptasi, 10% (v/v) kultur yang berisi  $\pm 10^7$  sel/mL, siap digunakan dalam proses biodegradasi limbah berminyak.

**Surfaktan.** Dua surfaktan yang diuji dalam penelitian ini yaitu Emulsogen LP dan Rheodol TSW 120V. Emulsogen LP telah terbukti dapat meningkatkan degradasi hidrokarbon dalam lumpur berminyak (Syafrizal dkk., 2009), sedangkan pemilihan Rheodol TSW diharapkan mampu meningkatkan kelarutan hidrokarbon sesuai dengan fungsinya sebagai *solubilizer*. Baik Emulsogen LP maupun Rheodol TSW merupakan surfaktan nonionik komersial. Karakteristik kedua surfaktan tersebut dijelaskan dalam tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1.** Karakteristik Surfaktan yang Digunakan dalam Biodegradasi *Oil Sludge*

Karakteristik	Emulsogen LP	Rheodol TSW 120V
Nama Kimia	<i>Secondary alcohol etoxylate</i>	<i>Polyoxyethylene sorbitan monostearate</i>
Penampakan	Jernih	Kuning bercahaya
HLB	10.6	15
Sifat ionik	Nonionik	Nonionik
Kegunaan	<i>Oil-in-water Emulsifier</i> , dispersan (HLB 8-15)	<i>Solubilizer</i> , dispersan (HLB 15-18)

Konsentrasi kedua surfaktan yang akan digunakan dalam proses biodegradasi mengacu pada nilai konsentrasi misel kritis atau CMC (*Critical Micelle Concentration*) berdasarkan pengukuran tegangan muka (SFT) menggunakan *Processor tensiometer*.

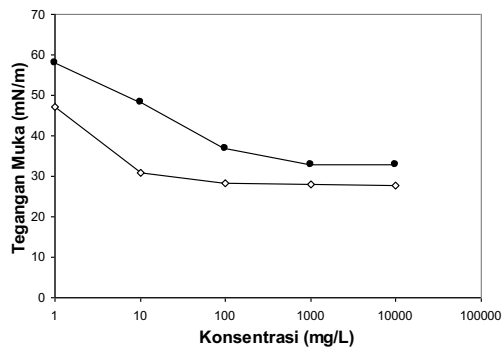
**Limbah Minyak.** Sampel lumpur berminyak (*oil sludge*) yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Kilang PPT Migas Cepu, Jawa Tengah mempunyai karakteristik: warna hitam seperti aspal; pH 6,9; kadar air 21,46%; kadar TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) 34,69%; serta kelembaban 40%.

**Uji Biodegradasi Hidrokarbon dalam Lumpur Berminyak dengan Sistem *Slurry Bioreactor*.** Pengujian biodegradasi limbah berminyak dengan menggunakan sistem *slurry bioreactors* merupakan salah satu metode penting untuk teknik bioremediasi *ad situ* and *ex situ*. Dalam kondisi *slurry*, laju deplesi polutan sangat tergantung pada aktivitas degradasi mikrobia yang ada dalam sistem dan hasil yang didapatkan mencerminkan potensi tanah untuk melakukan depurasi biologi yang sesungguhnya (Gonzales et al., 2008). Sebagai bioreaktor sederhana untuk sistem *slurry* digunakan tabung Erlenmeyer yang berisi 6% (b/v) *oil sludge*, surfaktan, 100 mL media cair steril yang berisi air produksi dengan penambahan sumber N/P 5:1 dan 0,1% ekstrak *yeast*, serta 10% (v/v) kultur *P. aeruginosa* yang telah diaktifkan. Tabung diletakkan dalam inkubator *shaker* dengan kecepatan 100 rpm. Persentase hidrokarbon terdegradasi dihitung berdasarkan nilai *Total petroleum hydrocarbon* (TPH) sebelum dan sesudah uji biodegradasi. Pengukuran TPH dilakukan secara gravimetri. Pada tahap pertama, pengujian biodegradasi hidrokarbon dilakukan dengan penambahan Emulsogen LP dan penambahan Rheodol TSW 120V pada suhu ruang. Hidrokarbon yang terdegradasi dihitung persentasenya setelah 4 hari. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan menggunakan surfaktan terbaik dari tahap pertama. Pengujian ini dilakukan selama 6 hari dengan dua variasi suhu, yaitu suhu ruang dan suhu 37°C. Persentase degradasi parafinik dihitung berdasarkan hasil GC sebelum dan sesudah proses biodegradasi.

**Pertumbuhan Bakteri.** Pertumbuhan bakteri dalam proses biodegradasi lumpur berminyak diamati berdasarkan populasi bakteri menggunakan metode angka lempeng total (*Total Plate Count*).

## Hasil dan Pembahasan

**Penentuan Konsentrasi Surfaktan.** Dari hasil pengukuran tegangan muka (gambar 1) didapatkan bahwa nilai konsentrasi kritis misel (CMC) adalah 100 mg/L untuk Emulsogen LP dan 1000 mg/L untuk Rheodol TSW-120V. Dengan demikian, pada uji biodegradasi lumpur berminyak surfaktan yang ditambahkan sebesar 100 mg/L Emulsogen LP atau 1000 mg/L Rheodol TSW-120V.



**Gambar 1.** Nilai CMC dari Emulsogen LP (◇) dan Rheodol TSW-120V (●)

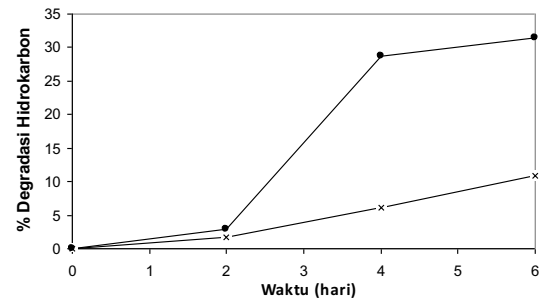
**Uji Biodegradasi Hidrokarbon.** Dari hasil pengujian tahap pertama terlihat bahwa penambahan kedua surfaktan nonionik mampu meningkatkan biodegradasi hidrokarbon lumpur berminyak (tabel 2). Persentase degradasi hidrokarbon dengan penambahan Rheodol TSW 120V lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan Emulsogen LP. Hal ini menunjukkan bahwa surfaktan Rheodol TSW 120 V disamping berfungsi sebagai dispersan juga berfungsi sebagai *solubilizer* yang meningkatkan kelarutan minyak di dalam air. Dengan semakin tingginya kelarutan minyak di dalam air akan mempermudah bakteri dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon. Perbedaan hasil dalam proses biodegradasi dapat disebabkan karena adanya aktivitas mikroflora yang terkandung dalam lumpur berminyak itu sendiri yang turut berperan dalam mendegradasi hidrokarbon (Shailubhai et.al.1985), maupun perbedaan komposisi dan struktur kimia lumpur berminyak.

**Tabel 2.** Persentase Degradasi Hidrokarbon dengan Penambahan Surfaktan setelah 4 Hari Waktu Inkubasi

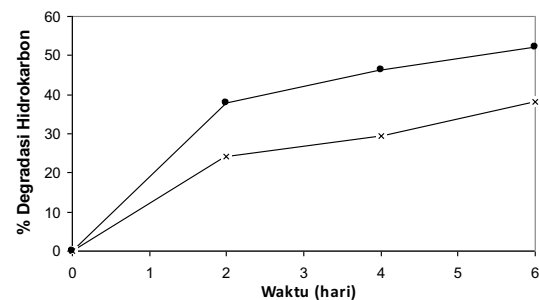
Perlakuan	% Degradasi Hidrokarbon
Kontrol	29,39
Emulsogen LP	34,5
Rheodol TSW-120V	46,23

**Pengaruh Suhu Inkubasi Terhadap Proses Degradasi Senyawa Hidrokarbon.** Persentase degradasi senyawa hidrokarbon pada suhu 37°C meningkat menjadi 52%, sedangkan inkubasi yang dilakukan pada suhu kamar hanya 31,51% (gambar 2 dan 3). Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, bahwa pada suhu 37°C yang merupakan suhu optimum untuk pertumbuhan *P. aeruginosa* sebagai agen pendegradasi akan meningkatkan laju degradasi hidrokarbon. Kedua, peningkatan suhu inkubasi juga membantu mendispersikan senyawa hidrokarbon kedalam air, karena sifat dari minyak bumi atau lumpur berminyak yang berbentuk semi padat pada suhu kamar namun lebih mudah mencair pada suhu yang lebih tinggi. Ketiga, adanya perubahan gugus fungsional surfaktan karena perubahan temperatur

seperti yang dijelaskan McClement (1999) sehingga meningkatkan kinerja surfaktan.

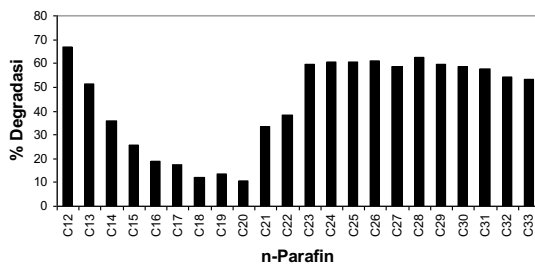


**Gambar 2.** Persentase Degradasi Hidrokarbon *Oil sludge* dengan penambahan Rheodol TSW-120V (●) dan tanpa penambahan surfaktan (x) pada suhu ruang.

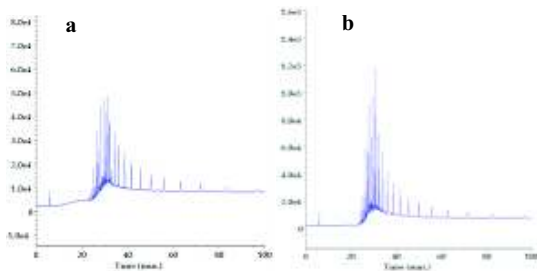


**Gambar 3.** Persentase degradasi hidrokarbon dengan penambahan Rheodol TSW-120V (●) dan tanpa penambahan surfaktan (x) pada suhu 37°C.

**Degradasi n-Parafinik.** Normal alkana (parafin) merupakan hidrokarbon jenuh dengan ikatan tunggal yang paling cepat terdegradasi oleh mikroorganisme. Dalam seri parafin, senyawa normal lebih mudah teroksidasi daripada senyawa bercabang. Menurut Udiharto (1992), kemampuan biodegradasi akan menurun bila jumlah cabang dan rantai cabang semakin panjang. Dari hasil proses degradasi n-Parafinik dalam lumpur berminyak dengan penambahan Rheodol TSW 120V pada suhu inkubasi 37°C selama 6 hari (gambar 4), persentase degradasi C24 – C32 lebih tinggi bila dibandingkan C14 – C22 yang berkisar antara 10-50%. Hal ini disebabkan oleh hidrokarbon alifatik rantai panjang lebih mudah didegradasi daripada hidrokarbon rantai pendek karena relatif tidak toksik terhadap bakteri. Persentase degradasi C12 dan C13 yang tinggi disebabkan karena kandungan C12 dan C13 yang rendah pada awal proses biodegradasi sehingga meski toksik, dapat didegradasi oleh bakteri *P.aeruginosa*. Semakin sedikit jumlah substrat yang tersedia maka semakin mudah dan cepat pula proses degradasi berlangsung. Hasil *Gas Chromatography* hidrokarbon sebelum dan sesudah proses biodegradasi menggunakan Rheodol TSW 120V pada suhu 37°C disajikan dalam gambar 5.



**Gambar 4.** Persentase degradasi n-parafinik dengan penambahan Rheodol TSW-120V pada suhu 37°C.



**Gambar 5.** Spektrum Gas Chromatography (GC) hidrokarbon lumpur berminyak hari ke-0 (a) dan hari ke-6 (b) proses biodegradasi.

**Populasi Bakteri.** Peningkatan populasi bakteri *P.aeruginosa* setelah memasuki 2 hari masa inkubasi (tabel 3) menunjukkan bahwa bakteri dapat tumbuh yang baik selama proses degradasi berlangsung. Penurunan populasi bakteri pada hari ke-6 masa inkubasi disebabkan bakteri mulai memasuki fase kematian. Populasi bakteri hari ke-6 pada perlakuan Rheodol TSW-120 V yang sedikit lebih tinggi dibandingkan kontrol menunjukkan bahwa dengan peningkatan kelarutan hidrokarbon melalui penambahan Rheodol TSW-120 V, telah menyediakan sumber nutrisi yang lebih sehingga mampu menahan laju kematian populasi bakteri.

**Tabel 3.** Populasi Bakteri Selama Proses Degradasi

Waktu (hari)	Populasi bakteri (sel/mL)	
	Kontrol	Rheodol TSW-120V
0	$10^7$	$1,1 \times 10^7$
2	$1,03 \times 10^{10}$	$1,10 \times 10^{10}$
6	$1,9 \times 10^7$	$4,5 \times 10^7$

## Kesimpulan

Penggunaan Rheodol TSW-120V mampu meningkatkan biodegradasi hidrokarbon limbah minyak bumi hingga 52%. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan Emulsogen LP pada penelitian terdahulu (Syafrizal dkk., 2009). Persentase hidrokarbon limbah minyak bumi yang terdegradasi dengan penambahan Rheodol TSW-120V dalam *slurry bioreactor* meningkat bila dilakukan pada suhu inkubasi 37°C. Desain sistem *slurry bioreactor* yang lebih sesuai dan

lebih lengkap seperti penambahan agitasi dan variasi kondisi operasi perlu dikaji lebih lanjut guna meningkatkan hasil biodegradasi hidrokarbon lumpur berminyak.

## Daftar Pustaka

- Cameotra, S.S., and P. Singh, 2008, Bioremediation of Oil Sludge using Crude Biosurfactants, *Int. Biodeterioration & Biodegradation*, 62:274-280.
- McClement, D.J., 1999, *Food Emulsion: Principles, Practice, and Techniques*, 2<sup>nd</sup> ed., CRC Press, Boca Raton, 104,108 pp.
- Pokethitiyook, P., A. Sungpetch, S. Upatham, and M. M. Kruatrachue, 2002, Enhancement of *Acinetobacter calcoaceticus* in Biodegradation of Tapis Crude Oil, *Proceeding of 17th World Congress of Soil Science*, Bangkok, pp 2309-1-9.
- Rahman, K.S.M., G. Street, R. Lord, G. Kane, T.J. Rahman, R. Marchant, and I.M. Banat, 2006, Bioremediation of Petroleum Sludge using Bacterial Consortium with Biosurfactant, in: SN Singh & RD Tripathi (eds). *Environmental Bioremediation Technologies*, Springer Publication, p: 391-408
- Robles-Gonzalez, I.V., F. Fava, and H.M. Foggi-Varaldo, 2008, A Review on Slurry Bioreactors for Bioremediation of Soils and Sediments, *Microbial Cell Factories*, 7:5
- Shailubhai, K., N.N. Rao, and V.V. Modi, 1985, Degradation of Petroleum Industry Oil Sludge by *Rhodotorula rubra* and *Pseudomonas aeruginosa*, *Oil & Petrochem. Pollution*, 2:133-136
- Soriano, A.U. and N. Pereira Jr., 2002, Oily Sludge Biotreatment, In: IPEC & CESE (Eds.), *9<sup>th</sup> Annual International Petroleum Environmental Conference*, Albuquerque, New Mexico.
- Syafrizal, D.S. Rani, and Y. Kussuryani, 2009, Surfactant Utilization in Oil Sludge Biodegradation using Slurry Bioreactor, *Lemigas Scientific Contribution*, vol 32(3): 197-201
- Udiharto, M, 1992, Aktivitas Mikroba Dalam Degradasi Minyak Bumi, *Proceeding Diskusi Ilmiah VII Hasil Penelitian LEMIGAS*, Jakarta.
- Volkering, F., A.M. Breure, J.G. van Andel, and W.H. Rulkens, 1995, Influence of Nonionic Surfactants on Bioavailability and Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, *J. Applied and Environmental Microbiology*, vol. 61 (5): 1699-1705.
- Volkering, F., A.M. Breure, and W.H. Rulkens, 1998, Microbiological Aspects of Surfactant Use for Biological Soil Remediation, *J. Biodegradation*, 8: 401-417.
- Zheng, Z., and J.P. Obbard, 2001, Effect of Nonionic Surfactant on Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) in Soil by *Phanerochaete chrysosporum*, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 76: 423-429.